



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال چهاردهم، شماره‌ی ۵۲
زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۳۸-۳۱

حذف متیلن بلو به کمک جذب سطحی توسط نانوکامپوزیت مغناطیسی $Fe_3O_4@GT$

علی زندی

گروه شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

حسین عباس تبار آهنگر*

گروه شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

Email: abbastabar@gmail.com

علی صفار

گروه شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

ارسال: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱

چکیده

یکی از مسائل زیست محیطی روز، ایجاد پساب‌های حاوی رنگ‌های آلی توسط صنایع رنگرزی می‌باشد. این آلاینده‌ها آسیب‌های بسیاری را برای انسان و دیگر موجودات به وجود آورده است. در این پروژه نانوکامپوزیت $Fe_3O_4@GT$ توسط نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 و کتیرا سنتز شدند. صمغ کتیرا به عنوان جزء مهم و کاربردی برای بهبود سرعت جذب استفاده شد. سپس به کمک این نانوکامپوزیت کیفیت حذف متیلن بلو بررسی شد. شرایطی مانند میزان جاذب، میزان متیلن بلو، pH محیط و دمای محیط در کیفیت حذف متیلن بلو بررسی شد و برای یافتن نتایج بهینه از روش تاگوچی استفاده شد. XRD، FTIR، DLS، SEM و VSM برای تجزیه و تحلیل نمونه استفاده شد. نتایج FTIR وجود گروه‌های عاملی هیدروژل کتیرا را در سطح نانوذرات ثابت کرد. اندازه ذرات نانوکامپوزیت به دست آمده با روش DLS، ۹۶/۲۴ نانومتر و مقدار VSM برای نانوکامپوزیت ۳۱/۳۳ emu/g به دست آمد. شرایط بهینه جاذب در pH قلیایی بود و مقدار زیاد آلاینده درصد جذب را کاهش داد. افزایش دمای محیط باعث بهبود جذب شد. مشخص شد که نانوکامپوزیت $Fe_3O_4@GT$ دارای عملکرد جذب بالایی بر روی متیلن بلو با نرخ حذف ۸۶/۴ درصد بعد از گذشت ۴ ساعت است.

کلید واژه: نانوکامپوزیت، متیلن بلو، $Fe_3O_4@GT$.

مقدمه

امروزه در صنایع بسیار زیادی از رنگ‌های آلی استفاده می‌شود. در نتیجه استفاده بیش از حد رنگ‌های آلی توسط شرکت‌های رنگرزی، فاضلاب‌های صنعتی این گونه شرکت‌ها به عنوان یک از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی یاد می‌شوند. روش‌های متنوعی برای حذف رنگ‌های آلی از این گونه پساب‌ها جهت کاهش اثرات آن‌ها بر روی محیط زیست طراحی و توسعه داده شده‌اند. از جمله این روش‌ها، روش جذب، واکنش‌های شبه فتون، روش لجن فعال، استفاده از غشاها و فوتوکاتالیست می‌باشد که روش جذب به دلیل بازدهی بالا بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱-۲].

نانوذرات مغناطیسی، به دلیل این که ویژگی‌های جدید و منحصر به فردی دارند، به موضوع بسیاری از تحقیقات در سال‌های اخیر تبدیل شده‌اند. این نانو ذرات دارای نسبت سطح به حجم بالایی بوده و برهمکنش آن‌ها با دیگر مواد بسیار بالاست. همچنین آن‌ها را با یک میدان مغناطیسی خارجی به راحتی می‌توان از آب جداسازی نمود. از میان نانوذرات، نانوذرات سوپر پارامغناطیس Fe_3O_4 از کاربرد بیش‌تری برخوردارند به دلیل این که سمی نیستند، زیست سازگار هستند و با اصلاح سطح آن‌ها می‌توان ویژگی‌های متنوعی به آن‌ها داد [۳]. می‌توان به کمک این نانوذرات و پلیمرهایی از جمله هیدروژل‌ها، نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی تولید کرد که جذب سطحی آلاینده‌های آلی را تا چندین برابر بهبود می‌بخشند [۴].

هیدروژل‌ها جاذب‌های کارآمدی هستند و به دلیل ظرفیت جذب بالا، کشش‌پذیری و پایداری، قابلیت جذب مقادیر زیادی املاح را دارند. آن‌ها دارای ساختار شبکه پلیمری سه بعدی متقاطع هستند که شامل هر دو جزء آب دوست و آب گریز شده اند که می‌توانند عملکردهای مختلفی داشته باشند. از جمله این هیدروژل‌ها کتیرا (GT) می‌باشد که به دلیل ظرفیت جذب بالا و قابلیت استفاده مجدد در فرایند بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. اما دارای محدودیت‌هایی مانند پایداری مکانیکی پایین، استحکام ژل و محل‌های جذب

انتخابی نیز می‌باشد. ترکیب Fe_3O_4 با کتیرا می‌تواند این پارامترها را بهبود دهد. کتیرا در مزارع ایران فراوان یافت می‌شود. این هیدروژل از دسته پلی ساکاریدها می‌باشد و به صورت طبیعی تولید شده و سمیت ندارد و از این نظر نسبت به هیدروژل‌های صنعتی همچون PVA اولویت دارد [۶].

در این پروژه نانوذرات Fe_3O_4 توسط GT پوشش داده شده و توانایی رنگ زدایی متیلن بلو توسط آن بررسی می‌شود. روش تاگوچی یکی از بهترین روش‌ها برای کاهش تعداد آزمایش‌های مورد استفاده برای تعیین نانوکامپوزیت بهینه در شرایط مختلف محیطی است [۷]. در این روش با تغییرات آگاهانه در متغیرهای ورودی فرآیند، می‌توان تغییرات خروجی را مشاهده و شناسایی کرد. این روش از بهترین استراتژی‌ها، جهت بهبود کیفیت فرآیند و ساخت محصول تقویت شده است. در تاگوچی آزمایش‌ها به حداقل می‌رسد، میزان اثر گذاری پارامترها بررسی می‌شود و میزان سیگنال به نویز را می‌توان تحلیل کرد.

مواد و روش‌ها

– مواد اولیه

صمغ کتیرای ایرانی، از عطاری شهر اصفهان خریداری شد. سولفات آهن ۷ هیدراته $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ و کلرید آهن ۶ هیدراته $(FeCl_3 \cdot 6H_2O)$ ، آمونیوم هیدروکسید (NH_4OH) از شرکت سیگما آلدریج خریداری شدند.

– تجهیزات

میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM)، مدل MIRA3 FEG، ساخته شده توسط شرکت TESCAN، جهت بررسی مورفولوژی نانوکامپوزیت استفاده شد. برای شناسایی گروه‌های عاملی نانوکامپوزیت، از طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)، مدل infralum FT-08، ساخته شده توسط شرکت لومکس، استفاده شد. برای بررسی میزان جذب متیلن بلو به کمک نانوکامپوزیت، از دستگاه UV-Vis، مدل 1900i، برند شیمادزو، استفاده شد. برای بررسی فاز کریستالی نانوکامپوزیت، پراش پرتو ایکس (XRD)، مدل فیلیپس PW3040، انتخاب شد.

نانوکامپوزیت به صورت پودر تولید شده، در نتیجه سطح فعال بسیار بالایی دارد.

برای بهینه‌سازی درصد جذب، شرایط مشخص شده در جدول زیر همچون مقدار نانوکامپوزیت (۰/۶-۰/۲ w/v) به عنوان جاذب، pH محیط (۹-۴)، دمای محیط (۲۰-۴۰ °C) و غلظت آلاینده MB (۵-۱۵ ppm) مورد بررسی قرار گرفت. روش تاگوچی با ۴ فاکتور و ۳ سطح (آرایه متعامد L9) استفاده می‌شود که در جدول ۱ مشخص شده است.

جدول ۱- آرایه متعامد L9 تاگوچی (۴ عامل در ۳ سطح)

factors	Levels		
	Fe ₃ O ₄ (w/v)	۰/۲	۰/۴
pH value	۴	۷	۹
Temperature (°C)	۲۰	۳۰	۴۰
MB concentration (ppm)	۵	۱۰	۱۵

برای بررسی میزان جذب MB توسط نانوکامپوزیت در شرایط محیطی مطابق با جدول ۲، در هر مرحله ۱۰ میلی‌لیتر محلول در بشر ریخته و مقدار معینی از نانوکامپوزیت تولید شده به آن اضافه شد و محلول توسط همزن مکانیکی هم زده شد. برای مشخص شدن میزان حذف آلاینده MB، ابتدا به مدت چهار ساعت و هر یک ساعت یکبار، محتویات با آهنربای قوی رسوب داده و سپس محلول را سرریز کرده و برای بررسی میزان جذب MB از دستگاه طیف سنجی UV استفاده شد. میزان جذب MB در طول موج ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب MB) به دست آمد. برای تنظیم pH از HCl و NaOH استفاده شد.

- روش کار

از روش‌های مهم تولید نانوذرات Fe₃O₄ روش هم‌رسوبی است. این روش بسیار ساده و ایمن است که می‌تواند نانوذرات را به صورت انبوه تولید کند [۸]. برای سنتز نانوکامپوزیت، ابتدا ۱ گرم سولفات آهن ۷ آب و ۱/۶۲ گرم کلرید آهن ۶ آب درون بشر حاوی ۳۰ سی سی آب مقطر اضافه می‌شود. با هم زدن مواد توسط همزن مکانیکی، نمک در آب حل شده و سپس به بشر، محلول ۰/۵ مولار NH₄OH به آرامی اضافه می‌شود تا زمانی که pH به ۱۱ برسد. در این شرایط، رسوب مشکی رنگی تشکیل می‌شود. نانوذرات تشکیل شده به کمک آهنربای قوی ته نشین شده و آب روی سطح نانوذرات از بشر سرریز می‌شود. در انتها، رسوب ۳ بار توسط آب مقطر شستشو داده می‌شود و در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا خشک شود.

- سنتز نانو کامپوزیت Fe₃O₄@GT

کثیرا به مدت ۴۸ ساعت در ۵۰ سی سی آب، در یک ظرف در بسته قرار داده شده تا به هیدروژل تبدیل شود. بعد از تشکیل هیدروژل، آن را داخل بشر ریخته و با دادن حرارت، دمای محلول را به ۸۰ درجه سانتی‌گراد رسانده و به میزان ۲۰٪ وزنی هیدروژل، Fe₃O₄ به بشر اضافه کرده، به مدت ۵ دقیقه همزده تا یکنواخت شود. سیتریک اسید به میزان ۲٪ وزنی به عنوان عامل اتصال دهنده عرضی به محلول اضافه شده و محلول به مدت ۵ دقیقه همزده می‌شود [۹]. اجازه داده می‌شود محلول خنک شود و سپس آن را در پتری دیش ریخته و در آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا فیلم نانوکامپوزیتی تشکیل شود. سپس فیلم نانوکامپوزیتی که بسیار شکننده است خرد می‌شود.

جدول ۲- شرایط آزمایش و نتایج درصد جذب MB برای ۹ نمونه پیشنهادی توسط تاگوجی

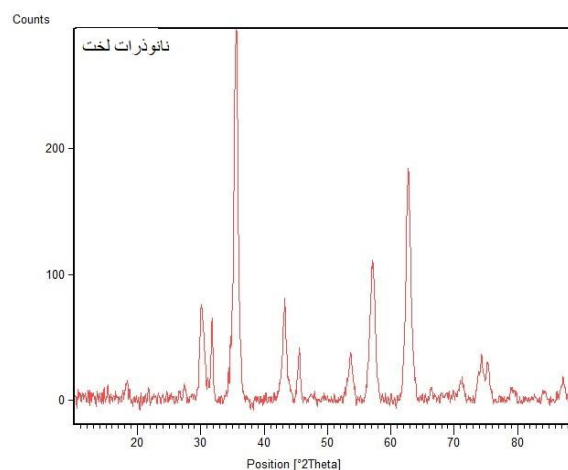
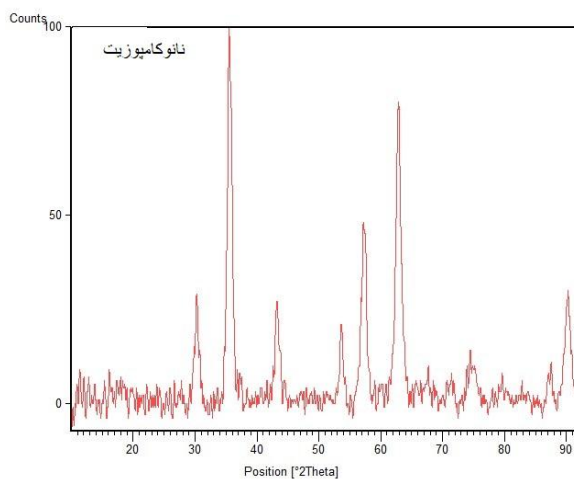
Conditions	Fe ₃ O ₄ (w/v)	pH value	Temperature (°C)	MB concentration (ppm)	% MB absorption in different time			
					1h	2h	3h	4h
۱	۰/۲	۴	۲۰	۵	۲۱/۳۵	۴۳/۱۷	۵۵/۲۴	۶۴/۳۵
۲	۰/۲	۷	۳۰	۱۰	۲۳/۳۷	۴۴/۷۳	۵۷/۸۵	۶۵/۸۱
۳	۰/۲	۹	۴۰	۱۵	۳۶/۳۸	۵۰/۴۶	۶۱/۳۴	۷۵/۹۱
۴	۰/۴	۴	۳۰	۱۵	۲۹/۵۴	۴۵/۱۸	۵۸/۴۵	۶۷/۵۸
۵	۰/۴	۷	۴۰	۵	۳۱/۸۳	۵۱/۷۶	۶۳/۹۴	۷۵/۸۴
۶	۰/۴	۹	۲۰	۱۰	۴۲/۵۷	۵۵/۲۸	۶۷/۵۵	۷۹/۳۹
۷	۰/۶	۴	۴۰	۱۰	۳۲/۴۶	۵۰/۲۷	۶۰/۷۲	۶۶/۲۸
۸	۰/۶	۷	۲۰	۱۵	۳۱/۱۸	۵۲/۱۷	۶۴/۱۷	۷۶/۵۸
۹	۰/۶	۹	۳۰	۵	۴۵/۷۱	۶۳/۶۱	۷۵/۴۲	۸۶/۴

نتایج و بحث

- نتیجه XRD

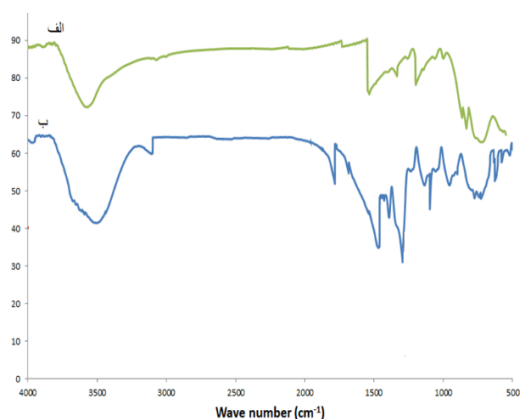
در شکل ۱ الگوی XRD نانو ذرات لخت (بدون پوشش) و نانوکامپوزیت مقایسه شده است. به کمک نرم افزار X-Pert نشان داده شده که پیک‌های ظاهر شده در مقادیر 2θ (hkl)

۳۰-۳۲، ۳۵-۳۷، ۴۳-۴۵، ۵۳-۵۷، ۵۹-۵۷، ۶۲-۶۴، ۷۳-۷۵، ۸۶-۸۹ به خوبی با فاز اسپینل مکعبی Fe₃O₄ مطابقت دارند. (کدهای مرجع: ۱۱۱۱-۰۰۱-۰۰ و ۱۰۳۵-۰۰۲-۰۰) [۱۰]. از معادله دبای شرر می‌توان اندازه نانوذرات را محاسبه کرد. با توجه به نتایج، اندازه ذرات نانوکامپوزیت ۶۷/۳۲ nm و نانوذرات لخت ۶۲/۲۳ nm نانومتر بوده است [۱۱].



شکل ۱: XRD مقایسه نانوذرات لخت (بدون پوشش) و نانوکامپوزیت

است. پیک ظاهر شده در $3300-3500 \text{ cm}^{-1}$ به دلیل وجود گروه‌های OH آب حبس شده در کریستال‌ها یا مربوط به OH- سطح نانوذرات است. برخلاف نانوذرات بدون پوشش، پهن شدگی پیک در اینجا ممکن است به دلیل وجود گروه‌های عاملی OH- موجود در GT باشد. پیک‌های ظاهر شده در $1580-1650 \text{ cm}^{-1}$ به دلیل گروه‌های کششی C=O و C=C است. پیک $1400-1410 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به پیوند خمشی OH و پیوند کششی CO-O-CO در $1050-1150 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ترکیبات کربوکسیلیک اسید در GT است. پیک جذبی در $1400-1410 \text{ cm}^{-1}$ و $1580-1650 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به پیوند COO-Fe است که ممکن است به دلیل واکنش گروه‌های هیدروکسید روی سطح Fe₃O₄ با گروه‌های کربوکسیلات باشد. پیوند کششی Fe-O در پیک $400-600 \text{ cm}^{-1}$ ظاهر شد [۱۳-۱۴].



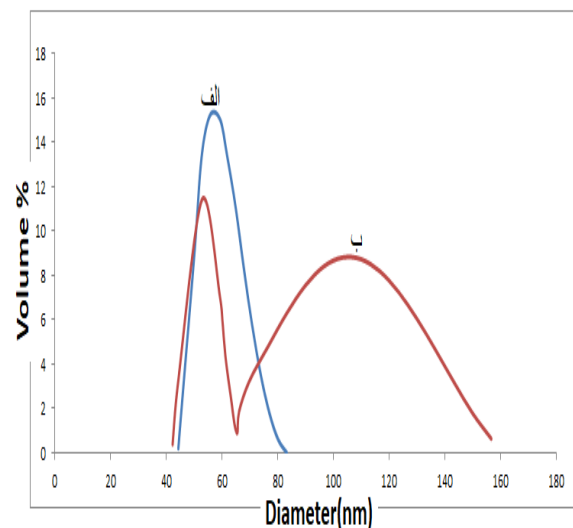
شکل ۳: طیف FTIR برای نمونه‌ها الف) نانوذرات لخت ب) نانو کامپوزیت

- نتایج SEM

شکل ۴ تصاویر SEM نانوذرات لخت و نانو کامپوزیت را نشان می‌دهد. برای نانو کامپوزیت، تجمع ذرات بسیار زیاد است و ذرات به هم انباشته می‌شوند. اندازه ذرات غیر یکنواخت است و شکل ذرات نامناسب است. وجود ذرات بالای ۱۰۰ نانومتر می‌تواند به دلیل تجمع ذرات باشد. برخلاف نانوذرات لخت، می‌توان نتیجه گرفت که GT باعث پوشش و تجمع ذرات می‌شوند [۱۵].

- نتایج زتا پتانسیل و DLS

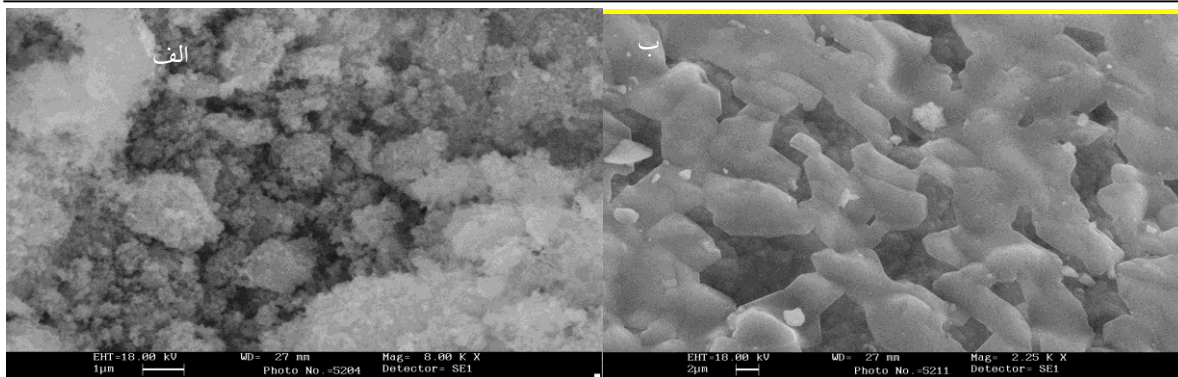
میانگین اندازه ذرات نانو کامپوزیت توسط DLS به دست می‌آید. اندازه ذرات نانو کامپوزیت ۹۶/۲۴ نانومتر و اندازه نانوذرات لخت ۵۷/۲۴ نانومتر به دست آمد. شاید دلیل افزایش اندازه ذرات نانو کامپوزیت به دلیل ایجاد پوشش سطحی نانوذرات توسط هیدروژل یا خوشه‌ای و کلوخه‌ای شدن نانوذرات توسط آن‌ها باشد. دلیل پهن شدگی نمودار نیز می‌تواند به همین دلیل باشد. پتانسیل زتا بین برای نانوذرات لخت ۲۸- و برای نانو کامپوزیت ۱۵- به دست آمد که نشان دهنده تغییر بار سطحی نانوذرات با ایجاد پوشش است [۱۲].



شکل ۲: نمودار DLS حاصل از نانو کامپوزیت

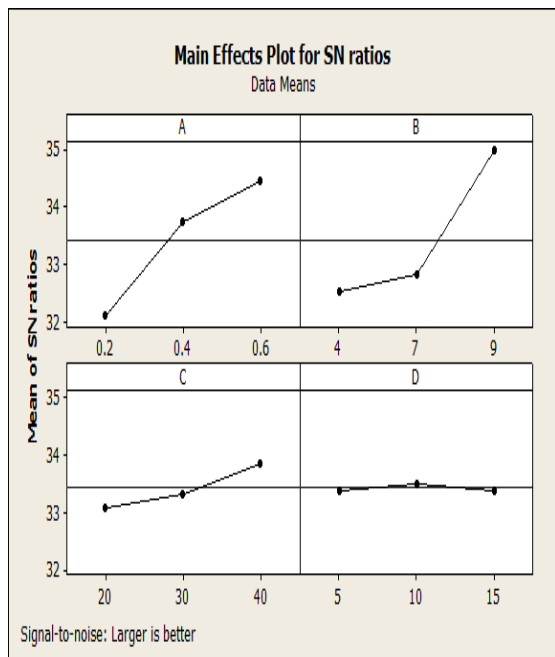
- نتایج تحلیل FTIR

در شکل ۳ الف) FTIR مربوط به نانوذرات لخت مشاهده می‌شود. پیک موجود در $3300-3400 \text{ cm}^{-1}$ و 1630 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های عاملی OH- روی سطح Fe₃O₄ و یا مربوط به آب حبس شده درون بلورها در حین هسته زایی و رشد است. پیک موجود در 1410 cm^{-1} و 570 cm^{-1} نیز مربوط به ارتعاش کششی گروه عاملی Fe-O می‌باشد. پیک قابل رویت در 1100 cm^{-1} مربوط به پیوند خمشی Fe-O است. نمودار FTIR نانو کامپوزیت در شکل ۳ ب) نشان داده شده



شکل ۴: الف: نانوذرات Fe₃O₄@GT، ب: نانوذرات لخت

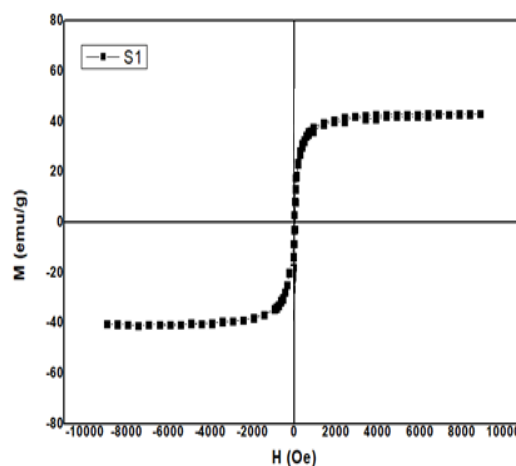
تاگوجی و انتخاب عدد بزرگ‌ترین عدد بهترین نتیجه، بهترین سطوح را برای هر پارامتر برای تهیه بهترین نانوکامپوزیت با بیش‌ترین جذب متیلن بلو ارائه می‌دهد. مقدار متوسط نسبت S/N و داده‌های میانگین برای هر عامل در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: مقدار متوسط نسبت S/N و داده‌های میانگین برای هر عامل

بر اساس این نتایج، در pH منفی، به دلیل منفی شدن سطح جاذب (وجود گروه -OH روی سطح نانوذرات و سطح پلیمر)، جذب رنگ کاتیونی MB در نتیجه جاذبه الکترواستاتیکی افزایش می‌یابد. وجود سطوح فعال بسیار

نتیجه VSM: نتیجه مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی (VSM) نشان می‌دهد که نانوذرات دارای خواص مغناطیسی بالا هستند و پوشش نانوذرات باعث کاهش این خاصیت نشده است. نانوذرات بدون پوشش خواص مغناطیسی بهتری داشتند. مقدار VSM نانوذرات نمونه لخت ۴۲/۴۸ emu/g و برای نانوکامپوزیت ۳۱/۳۳ بود. تصویر VSM نانوکامپوزیت در شکل زیر قابل مشاهده است [۱۶].



شکل ۵: تصویر VSM نانوذرات Fe₃O₄@GT

– جذب متیلن بلو توسط نانوکامپوزیت

شکل ۶ درصد جذب متیلن بلو را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشخص است که سرعت جذب در ساعت اولیه زیاد است و سرعت جذب به تدریج کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میزان جذب مربوط به نمونه ۹ بود که پس از ۴ ساعت ۸۶/۴ درصد جذب شد. با استفاده از نرم افزار Minitab قسمت

سپاس گذاری

نویسندگان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد برای فراهم آوردن انجام آزمایش‌ها و آنالیزهای مربوطه کمال تشکر را دارند.

منابع

- [1] Al-Tohamy, R., Ali, S.S., Li, F., Okasha, K.M., Mahmoud, Y.A.G., et al., 2022, A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety, *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 231: 113160.
- [2] Rajasulochana, P., Preethy, V., 2016, Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review, *Resource-Efficient Technologies*; 2: 175-184.
- [3] Materón, E.M., Miyazaki, C.M., Carr, O., Joshi, N., et al., 2021, Magnetic nanoparticles in biomedical applications: A review, *Applied Surface Science Advances*; 6 :100163.
- [4] Salahuddin, B., Aziz, S., Gao, S., Hossain, M.S.A., Billah, M., Zhu, Z., Amiralian, N., 2022, Magnetic Hydrogel Composite for Wastewater Treatment. *Polymers*; 14:5074.
- [5] Darban, Z., Shahabuddin, S., Gaur, R., Ahmad, I., Sridewi, N., 2022, Hydrogel-Based Adsorbent Material for the Effective Removal of Heavy Metals from Wastewater: A Comprehensive Review; *Gels* 8: 263.
- [6] Jana, S., Ray, J., Mondal, B., Pradhan, S.S., 2018, pH responsive adsorption/desorption studies of organic dyes from their aqueous solutions by Katira gum- cl - poly (acrylic acid-co-N -vinyl imidazole) hydrogel. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*; 553.
- [7] Shafiee, S., Abbastabar Ahangar, H., Saffar, A., 2019, Taguchi method optimization for synthesis of $Fe_3O_4@chitosan/Tragacanth$ Gum nanocomposite as a drug delivery system. *Carbohydrate Polymer*; 222: 114982.
- [8] Goodarzi Naseri, M., Bin Saion, E., Abbastabar Ahangar, H., Hashim, M., Shaari, A.H., 2011, Synthesis and characterization of manganese ferrite nanoparticles by thermal treatment method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*; 323: 1745-1749.
- [9] Sharma, A., Pathania, D., Kumar, A., 2020, Bio-Polymer Based Tragacanth Gum (TG) Loaded Fe_3O_4 Nanocomposite for the Sequestration of Tenacioso Congo Red Dye from Waste Water. *Journal of Material Science and Technology Research*; 7: 92-100.
- [10] Salimi, Z., Ehsani, M., Shiralizadeh Dezfuli, A., Alamzadeh, Z., 2022, Evaluation of Iron and Au- Fe_3O_4 Ferrite Nanoparticles for Biomedical Application. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*; 35: 1-8.
- [11] Hussein, A., Dannoun, E., Aziz, B.S., Brza, M., Abdulwahid, R., Hussen, et al., 2020, Steps Toward the Band Gap Identification in Polystyrene Based Solid Polymer Nanocomposites Integrated with Tin Titanate Nanoparticles. *Polymers*; 12: 2320.
- [12] Ma, P., Luo, Q., Chen, J., Gan, Y., Du, J., Ding, S., Xi, Z., Yang, X., 2012, Intraperitoneal injection of magnetic Fe_3O_4 -nanoparticle induces hepatic and renal tissue injury via oxidative stress in mice. *International journal of nanomedicine*; 7: 4809-18.
- [13] Sadeghzadeh, S., Ghazvini, S., Hejazi, S., Yaghmaei, S., Nejad, Z., 2020, Immobilization of Laccase from *Trametes hirsuta* onto CMC Coated Magnetic Nanoparticles, *International Journal of Engineering*, 33(4): 513-519.
- [14] Maleki, A., Niksefat, M., Rahimi, J. et al., 2019, Design and preparation of $Fe_3O_4@PVA$ polymeric magnetic nanocomposite film and surface coating by sulfonic acid via in situ methods and evaluation of its catalytic performance in the synthesis of dihydropyrimidines. *BMC Chemistry*; 13: 19.
- [15] Zirak, M., Abdollahiyan, A., Eftekhari-Sis, B. et al., 2018, Carboxymethyl cellulose coated $Fe_3O_4@SiO_2$ core-shell

زیاد در سطح پلیمر (گروه عاملی OH) تعامل با MB را افزایش می دهد. مقدار نانو کامپوزیت تاثیر کمی در افزایش یا کاهش جذب MB دارد، اما pH و مقدار آلاینده‌ها از عوامل بسیار مهم تری هستند. با افزایش آلاینده‌ها میزان جذب کاهش می یابد و در صورت استفاده بیش تر از جاذب‌ها این مشکل برطرف می شود. افزایش دما به بهبود جذب MB کمک می کند. این ممکن است به دلیل جدا شدن نانوذرات تجمع یافته باشد که باعث افزایش سطح فعال می شود [۱۷-۱۸].

نوع جاذب	pH	دما	% جذب
تفاله چایی [۱۹]	۶-۷	۳۰	۷۵
Fe_3O_4 -MCP [۲۰]	۳-۸	۲۷	۹۳/۱۱
Fe_3O_4 -TAN [۲۱]	۵/۱۰	۲۵	۹۰/۹

نتیجه گیری

در این پروژه سعی شد یکی از مهم ترین آلاینده‌های صنعتی یعنی رنگ آلی متیلن بلو توسط نانو کامپوزیت $Fe_3O_4@GT$ حذف شود. در این پروژه از صمغ کتیرا استفاده شده است زیرا یک ماده طبیعی با ارزش بوده و هیچ گونه آسیب زیست محیطی ندارد. برای ارزیابی کیفیت حذف MB، عواملی مانند میزان دمای محیط و pH و مقدار نانو کامپوزیت مورد نیاز برای حذف بررسی شد. با توجه به تعداد زیاد آزمایش ها، از روش تاگوشی برای کاهش تعداد آزمایش‌ها و به دست آوردن شرایط بهینه استفاده شد. تجزیه و تحلیل UV-Vis نشان داد که به خوبی می تواند MB را در pH قلیایی جذب کند. افزایش دما در بهبود جذب MB تاثیر داشت. افزایش آلاینده‌ها باعث کاهش درصد جذب شد. فاکتور pH تعیین کننده تر از سایر عوامل بود. اگر pH محلول قلیایی باشد، این نانو کامپوزیت می تواند تا ۸۶/۴ درصد MB را از آب حذف کند.

- magnetic nanoparticles for methylene blue removal: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Cellulose*; 25: 503–515.
- [16] gurkan polat, T., Demirel Topel, S., 2019, pH-responsive carboxymethyl cellulose conjugated superparamagnetic iron oxide nanocarriers. *Journal of Scientific Perspectives*; 3: 99-110.
- [17] Chang, Q., Jiang G.D., Hu M.X., Huang J., Tang H.Q., 2014, Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto magnetic Fe₃O₄/graphene oxide nanoparticles, *Huan Jing Ke Xue*; 35(5):1804-9.
- [18] Yang, X., Chen, W., Huang, J., et al., 2015, Rapid degradation of methylene blue in a novel heterogeneous Fe₃O₄@rGO@TiO₂-catalyzed photo-Fenton system. *Science Report*; 5: 10632.
- [19] Alqadami A.A., Naushad M., Abdalla M.A., Khan M.R., Alothman Z.A., 2016, Adsorptive Removal of Toxic Dye Using Fe₃O₄-TSC Nanocomposite: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies. *Journal of Chemical and Engineering*; 61: 3806–3813.
- [20] Tan, K., A., Morad, N., Teng, T.T., Norli, I., Panneerselvam, P., 2012, Removal of Cationic Dye by Magnetic Nanoparticle (Fe₃O₄) Impregnated onto Activated Maize Cob Powder and Kinetic Study of Dye Waste Adsorption, *APCBEE Procedia*; 1: 83-89.